1. Radio valovi

1. 1. Propagacija elektromagnetskih valova

Opcenito o radiovalovima

Uopceno, elektricni protok je struja elektrona u vodicu izmedu tocaka razlicitog elektricnog potencijala. Istosmjerna struja tece stalno u istom pravcu. To se dogada ako se ne mijenja polaritet izvora (na primjer u bateriji ili akumulatoru). Ako se medutim elektricni napon stvara indukcijom, to jest gibanjem vodica u magnetskom polju, te ako vodic rotira u magnetskom polju (što se dogada rotacijom rotora u stroju koji se zove generator) polaritet izvora pravilno se mijenja, pa elektromotorna sila mijenja smjer ovisno o položaju rotora. Takav elektricni tok zove se izmjenicni tok ili izmjenicna struja.

Energija elektricnog toka troši se na dva nacina: ili toplina (gubici energije proporcionalni su jacini elektricnog toka i otporu vodica) ili kao elektromagnetsko polje rasporedeno simetricno oko vodica. Orjentacija elektromagnetskog polja funkcija je polariteta izvora elektricnog toka. Kad elektricni tok prestane strujati vodicem, elektromagnetko polje oko njega vraca se vodicu.

Ako se polaritet elektricnog polja u vodicu mijenja, smjer induciranog elektromagnetskog toka koji se iz prostora vraca u vodic suprotan je smjeru elektricnog toka vodica. Zbog toga u vodicu postoje gubici, a vodic ne može u potpunosti preuzeti energiju induciranog elektromagnetskog polja. Ako se te promjene sinkroniziraju (smjer toka u svakom je trenutku suprotan smjeru induciranog i jednak po intenzitetu), cjelokupna energija induciranog elektromagnetskog polja zadržava se izvan vodica i u obliku vala (elektromagnetski val) rasprostire se brzinom svjetlosti kroz prostor. To je nacelo rada predajne antene. Nailaskom na slobodni vodic ele val koji se rasprostire prostorom izaziva u njemu indukcijski tok cija je promjena polariteta istovjetna onoj u vodicu koji ga je generirao (frekvencija). To je nacelo rada prijemne antene.

Terminologija radio valova

Jakost elektromagnetskog polja u blizini vodica (predajne antene) ravno je proporcionalna elektricnom toku u vodicu. Rotor generatora generira elektricni tok oblika sinusoide, što znaci da se intenzitet toka (magnituda) mijenja kao funkcija položaja rotora u odnosu na stacionarno magnetsko polje. Elektricno polje pocinje s nulom, raste do najvece vrijednosti (amplituda) tijekom jedne cetvrtine punog okretaja rotora (90°) i pada do nule u slijedecoj cetvrtini rotacije rotora. Nakon u narednoj polovici rotacije elektricni tok mijenja polaritet i nakon rotacije od 270° postiže najvecu negativnu vrijednost (amplituda toka suprotnog polariteta). Nakon potpuno izvršenog okretaja rotora (360°) intenzitet elektricnog toka u vodicu opet pada na nulu. Prema tome jacina elektricnog toka mijenja se po funkciji sinusa kuta kojeg zatvara smjer magnetskog polja i položaj rotora generatora.

Period elektricnog toka (T) je vrijeme koje protekne od najvece vrijednosti elektricnog toka do slijedece najvece vrijednosti elektricnog toka (vrijeme jednog okretaja rotora generatora).

Amplituda (A) je najveci intenzitet elektricnog toka.

Magnituda je intenzitet elektricnog toka u nekom trenutku, mijenja se od nule do vrijednosti amplitude.

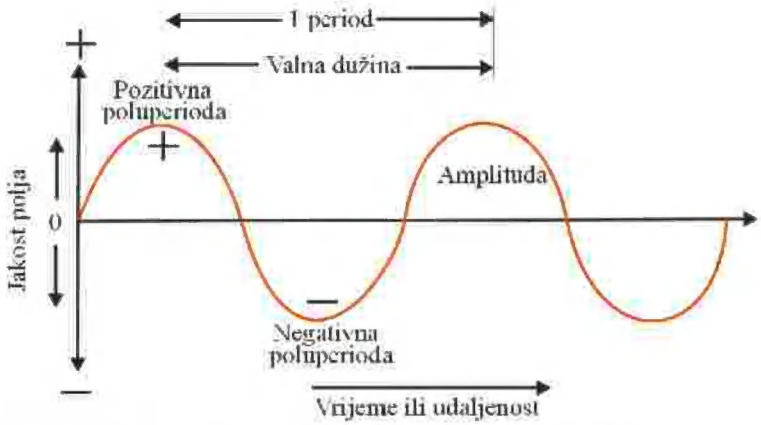
Front vala je prednja strana svakog impulsa. Za neusmjerene antene i se rasprostiru kružno, tvoreci u prostoru ekspandirajucu hemisferu koja se širi brzinom svjetlosti.

Valna dužina (l) je udaljenost izmedu dva uzastopna vrha ili dola vala. Izražava se u jedinicama dužine (kilometri, metri, centimetri).

Frekvencija (f) je broj ciklusa koji se izmijeni u jednoj sekundi. Izražava se u **hertzima (Hz)**. Frekvenciju jednog hertza ima izmjenicna struja s jednim ciklusom u sekundi. Frekvenciju jednog kilohertza (kHz) ima izmjenicna struja ili radioval s tisucu ciklusa u jednoj sekundi. Više jedinice su **megahertz (MHz)** za frekvenciju od milijun ciklusa u sekundi i **gigahertz (GHz)** za frekvenciju od milijardu ciklusa u sekundi. Suvremeni elektronicki uredaji uglavnom koriste frekvencije koje se izražavaju gigahertzima, na primjer komunikacijski sustav INMARSAT koristi frekvencije frekventnog podrucja izmedu 1,5 Ghz i 1,6 GHz (MES ili SES stanice), odnosn 5 Ghz i 6 Ghz (LES ili CES stanice); GPS sustav za pozicioniranje koristi ista fr ventna podrucja (1,5 do 1,6 MHz), dok magnetron radara radi na frekvencijama od cak 10 GHz.

Faza vala je vrijeme za koje front vala prethodi ili zaostaje nekom odredenom trenutku od kojeg se mjeri pocetak svakog ciklusa.

Elementi elektricnog toka izmjenicne struje ili elektromagnetskog vala prikazani su na slici 1.



Slika 1. Elementi elektricnog toka izmjenicne struje ili elektromagnetskog vala

Matematicki meduodnosi elemenata radiovalova

Impulsna modulacija je jedan od nacina prijenosa informacija na daljinu. Frekvencija je u ovoj vrsti modulacije definirana brojem impulsa koji predajnik emitira u jednoj sekundi, a valna dužina udaljenošcu izmedu dva uzastopna impulsa. Impulsi se kroz prostor prostiru brzinom svjetlosti (c) i ako predajnik emitira jedan impuls svake sekunde udaljenost izmedu dva impulsa iznosit ce 300.000 km (frekvencija 1 Hz, valna dužina 300.000 km). Ako predajnik emitira dva impulsa u sekundi (frekvencija 2 Hz), udaljenost izmedu dva uzastopna impulsa (valna dužina) bit ce 150.000 km. Ako predajnik u jednoj sekundi emitira f impulsa, valjna dužina (λ) ce biti:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{300.000\ km}{f}$$

Analogno:

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Period vala (T) definiran je kao vrijeme trajanja jednog impulsa. Ako je jednoj sekundi emitiran samo jedan sinusoidni impuls (f = 1) njegovo trajanje takoder jednu sekundu (T = 1). Ako su u jednoj sekundi emitirana dva impulsa (f =) svaki od njih trajao je pola sekunde (T = 0,5). Ako je u jednoj sekundi emitirano f impulsa, svaki od njih je trajao:

$$T = \frac{1}{f}$$

Period vala obrnuto je proporcionalan frakvenciji. Analogno:

$$f = \frac{1}{T}$$

Frekvencija izmjenicnog elektricnog toka ili elektromagnetskog vala obrnuto je proporcionalna periodu.

Frekventna podrucja

Frekvencijski spektar karakteriziraju razlicita svojstva pojedninih frekvencija. Najniža frekvencija koju može registrirati ljudsko uho je 20 titraja u sekundi (20 Hz). Frekvencije na kojima se registriraju pozadinska kozmicka zracenja dosežu vrijednosti od 4,8 x 10^{15} Hz (4.800 terahertza ili 4.800.000 milijardi treptaja u jednoj sekundi). Radiofrekvencije zauzimaju frekventno podrucje izmedu 10 kHz i 300 GHz, a podijeljene su na frekventno uža podrucja koja se nazivaju bendovi (bands). Frekvencija svakog benda deset je puta veca od frekvencije prethodnog benda.

Elektromagnetski valovi cija je valna dužina manja od cm (frekvencija viša od 1 GHz) zovu se mikrovalovi i definiraju podrucje ultravisokih, supervisokih i ekstremnovisokih radio frekvencija.

U tabeli 1 prikazana je podjela po kojoj su distribuirana frekventna podrucja.

TABELA 1. Podjela frekventnih podrucja

Band	Oznaka	Frekventno podrucje	Valna dužina
Zvucne frekvencije	AF	20 do 20 kHz	15.000 km do 15 km
Radio frekvencije	RF	10 kHz do 300 GHz	30 km do 0,1 cm
Vrlo niske frekvencije	VLF	10 kHz do 30 kHz	30 km do 10 km
Niske frekvencije	LF	30 do 300 kHz	10 km to 1.000 m
Srednje frekvencije	MF	300 do 3,000 kHz	1,000 m do 100 m
Visoke frekvencije	HF	3 do 30 MHz	100 m do 10 m
Vrlo visoke frekvencije	VHF	30 do 300 MHz	10 m do 1 m
Ultra visoke frekvencije	UHF	300 do 3,000 MHz	1m do 10 cm
Super visoke frekvencije	SHF	3,000 do 30,000 MHz	10 cm do 1 cm
Ekstremno visoke frekvencije	EHF	30,000 do 300,000 MHz	1 cm do 0.1 cm
Infracrveni spektar*		10^{6} to 3.9×10^{8} MHz	0.03 do 7.6×10^{-5} cm
Spektar vidljivog svjetla*		3.9×10^{8} to 7.9×10^{8} MHz	7.6×10^{-5} to 3.8×10^{-5} cm
Ultraljubicasti spektar*		7.9×10^{8} to 2.3×10^{10} MHz	3.8×10^{-5} to 1.3×10^{-6} cm
X-zrake*		$2..0\times10^{9}$ to 3.0×10^{13} MHz	1.5×10^{-5} to 1.0×10^{-9} cm
Gama zracenja*		2.3×10^{12} to 3.0×10^{14} MHz	1.3×10^{-8} to 1.0×10^{-10} cm
Pozadinsko kozmicko zracenje*		$> 4.8\times10^{15}$ MHz	$<6.2\times10^{-12}$ cm

* Procijenjene vrijednosti.

Polarizacija radiovalova

Radiovalovi uzrokuju elektromagnetsko polje, istovremeno elektricno i magnetsko. Smjer elektricne komponente odreduje polarizaciju elektromagnetskog polja. Ako je elektricna komponenta položena vertikalno elektromagnetsko polje je vertikalno polarizirano, a ako je elektricna komponenta horizontalna elektromagnetsko polje je horizontalno polarizirano. Prostiruci se otvorenim prostorom elektromagnetsko polje može biti polarizirano u bilo kojem smjeru, ali ako se elektromagnetski val prostire površinom zemlje uvijek je vertikalno polariziran. Magnetska komponenta elektromagnetskog polja okomita je na elektricnu komponentu.

Refleksija

Kad radio val u prostoru naide na prepreku dio energije odbija se od prepreke u prostor. To se svojstvo radio vala zove refleksija. Sva frekventna podrucja posjeduju svojstva refleksije. Snaga reflektiranog vala ovisna je o kutu upada, tipu polarizacije vala, frekvenciji, koeficijentu refleksije prepreke i rasipanja reflektiranog vala. N frekvencije postižu veci stupanj prodiranja (penetracije) u prepreku, a vrlo niske frekvencije mogu prodirati i ispod površine mora.

Odbijeni valovi mijenjaju fazu, a promjena zavisi o provodljivosti Zemlje i polarizaciji elektromagnetskog vala. Najvišu vrijednost (fazni pomak od 180°) dostiže horizontalno polariziran val kad se odbije od morske površine.

Kad direktni elektromagnetski val emitiran iz predajnika i reflektirani val dodu do prijemnika, primljeni signal sastavljen je od dva impulsa. Ako su direktni i reflektirani val u fazi prijem se pojacava. Ako je reflektirani val u protufazi direktnom valu, snaga signala se medusobno poništi (ako su amplitude signala jednake). Ako se dva signala razlikuju za neku faznu vrijednost signal se u vecoj ili manjoj mjeri pojacava ili slabi. Taj se proces naziva **interferencija**, a izaziva pojavu koja se zove **dutching**. Pojava je posebno izražena ako se elektromagnetski val rasprostire na veliku udaljenost i na prijemnik dolazi s više strana: direktinim rasprostiranje te refleksijama od ioniziranih slojeva atmosfere.

Interferencija je manje izražena kod niskih frekvencija. Za frekvencije iznad VHF frekventnog podrucja interferenciju može osnažiti i položaj antene ako je val vertikalno polariziran. Refleksiju mogu takoder izazvati planinski masivi, šume i ostale prirodne prepreke. Ova vrst smetnji sasvim je zanemariva za niska frekventna podrucja, ali porastom frekvencije smetnje zbog refleksije od prirodnih prepreka postaju sve izraženije. Kod radio komunikacija ovaj se problem može riješiti uporabom usmjerenih antena, ali takva rješenja najcešce nisu primjenjiva na pomorske navigacijske sustave.

U atmosferi postoje razliciti reflekcijski slojevi. Kod visokih frekvencija signali se reflektiraju od kiše ili oblaka, posebno onih koji uzokuju kišu. Refleksija se javlja i kod zracnih masa razlicitih svojstava, na primjer kad tople i vlažne zracne mase struje iznad hladne i suhe. Ako su takvi slojevi atmosfere paralalni s morskom površinom radio valovi i elektromagnetski impulsi mogu se prostirati mnogo dalje u prostor.

Glavni izvor refleksije radiovalova u atmosferi su slojevi ionosfere.

Refrakcija

Refrakcija radiovalova slicna je svjetlosnoj refrakciji, no ako se radioval rasprostire iz atmosferskih slojeva odredene gustoce u atmosferske slojeve druge gustoce povija se u odnosu na prethodni smjer rasprostiranja. Najvažniji razlog refrakcije je razlika u temperaturi i pritisku uzrokovanih visinskim razlikama i razlicitim svojstvima zracnih masa.

Refrakcija postoji kod svih frekvencija, ali ispod 30 MHz utjecaj ionosferskih efekata (rasipanje i absorpcija) mnogo je manji. Na višim frek refrakcija u slojevima atmosfere neposredno uz morsku površinu proširuje udaljenost radio horizonta za oko 15% u odnosu na morski horizont. Efekt je ekvivalentan udaljenosti morskog horizonta koja bi, bez utjecaja refrakcije, bila kad bi polumjer Zemlje bio za trecinu veci.

Ponekad su niži djelovi atmosfere slojevito rasporedeni. Ta slojevitost rezultira nestandardnim vertikalnim rasporedom temperature i vla Ako se pojavi inverzija (porast temperature porastom visine) može se pojaviti efekt va (dutching). Radiovalovi visokih frekvencija rasprostiru se medu slojevima atmosfere kao u valovodu dosižuci ogromne domete. Ta se pojava zove **superrefrakcija**. Najveci se dometi dostižu ako su predajnik i prijemnik u istom zracnom sloju. Donja granica frekvencija koje podliježu dutchingu varira od 200 MHz do više od 1 GHz.

Nocu se pojava dutchinga može, zbog hladenja, javiti i na kopnu. Na moru sloj debljine do 15 m (50 stopa) koji izaziva dutching može se, zbog utjecaja vjetra, pojaviti bilo kada. Zracni sloj koji izaziva dutching debljine do 30 m ili više može se s kopna rasprostirati i iznad površine mora kad topliji zrak s kopna struji iznad hladnije površine mora. Visinski dutching širine od nekoliko metara do više od 300 metara može se pojaviti na visinama od 300 do 1500 metara, a zbog utjecaja zracnih masa razlicitih svojstava. Ova je pojava cesta uz obale južne Kalifornije i na nekim podrucjima Tihog oceana.

Povijanje radiovala u horizontalnoj ravnini dogada se val prelazi s mora na kopno ili s kopna na more pod malim kutom u odnosu na obalu. Ovu pojavu mogu uzrokovati razlicita svojstva zracnih masa iznad kopna u odnosu na zracne mase iznad površine mora. Pojava se zove **obalna refrakcija** ili **efekt kopna**.

Ionosfera

Ako atom posjeduje jednak broj negativno nabijenih elektrona i pozitivno nabijenih protona on je elektricno neutralan. Ion je atom ili grupa atoma koji elektricno nisu neutralni, bilo da je rijec o negativnom ili pozitivnom polaritetu uslijed manjka ili viška elektrona.

Gubitak elektrona u atomu može biti posljedica razlicitih uzroka. U atmosferi se ioni najcešce stvaraju sudarima pokretnih atoma ili djelovanjem kosmickog odnosno ultraljubicastog zracenja. Niži slojevi atmosfere sadrže manji postotak iona, ali bliže površini Zemlje koncentracija pozitivnih ili negativnih iona ponovo se naizmjenicno povecava i smanjuje. Brojni slojevi s povecanim brojem pozitivnih ili negativnih iona i slobodnih elektrona zajednickim se imenom zovu ionosfera. Intenzitet ionizacije zavisi o vrsti atoma (kemijskim svojstvima zraka), gustoci atmosfere i utjecaju suncevih zraka (dobu dana ili godišnjem dobu). Nakon zalaza Sunca ioni i slobodni elektroni brže se oslobadaju povecavajuci intenzitet ionizacije atmosfere.

Elektron se iz atoma može izdvojiti samo djelovanjem energije koja je veca od one koja elektron povezuje s jezgrom atoma. Ta energija ovisna je o vrsti atoma i položaju elektrona na energetskoj razini u atomu, ali razlicite vrste energetskih zracenja takoder mogu uzrokovati ionizaciju nekih atoma.

U najvišim djelovima gustoca atmosfere je toliko niska da kisik egzistira cešce u obliku medusobno nepovezanih atoma nego kao molekule (kao što je slucaj u donjim slojevima atmosfere). U velikim visinama energetska razina atoma je niska i ionizacija uslijed djelovanja sunceve radijacije je najveca. Taj je ionizacijski sloj poznat kao F sloj. Iznad njega ionizacija slabi zbog manjeg broja atoma koji mogu biti ionizirani. Ispod tog sloja ionizacija slabi jer prodire manja kolicina sunceve radijacije. Za vrijeme dnevnog svjetla formiraju se dva sloja maksimalne ionizacije tipa F. S F2 nalazi se na visini od oko 200 km od površine Zemlje, a sloj F1 na visini od oko 150 U tijeku noci ta se dva sloja spajaju u jedinstveni F sloj.

Na visini od 100 km zbog vece koncentracije molekula ozona ionizacija je ponovo povecana tako da se formira novi ionizacijski sloj poznat pod oznakom E sloj. Visina ovog sloja stabilnija je nego visina slojeva F. Nocu E sloj postaje slabiji.

Ispod sloja E formira se slabije ioniziran sloj D, na visini od oko 70 km. Sloj nastaje zbog pojacane ionizacije ozona. Ovaj sloj apsorbira radiovalove HF frekventnog podrucja, a za vrijeme dnevnog svjetla reflektira radiovalove LF i VLF frekventnog podrucja.

Ionosfera i radio valovi

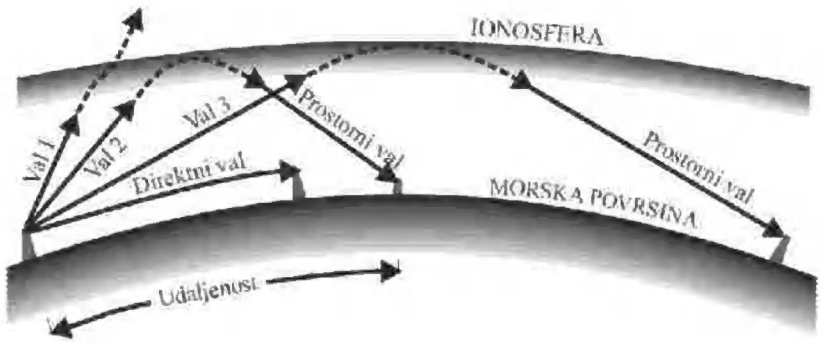
Kad radioval naide na cesticu s elektricnim potencijalom uzrokuje njezine vibracije. Vibracijom cestica absorbira energiju elektromagnetskog vala. Zog toga se mijenja polarizacija i smjer kretanja elektromagretskog vala. dio vala koji se rasprostire

ioniziranim slojem krece se brže uzrokujuci skretanje vala prema slojevima s manjom ionizacijom.

Na slici je shematski prikazano širenje radiovalova ioniziranim slojevima atmosfere. Val 1 na ionizirani je sloj upao pod takvim kutom da je ulaskom u ionizirani sloj skrenuo za veci kut u odnosu na okomicu upada, ali nakon prolaska slojem ponovo je skrenuo prema okomici i nastavio se kretati u slobodnom prostoru. Porastom kuta upada odnosu na okomicu Val 2 skrenuo je pod kutom toliko velikim da ne prolazi kroz ionizirani sloj vec se iz njega vraca u prostor iz kojeg je i upao. Tako se val reflektira prema površini Zemlje. Ako je kut upada vala još veci (val 3), val može doseci vrlo velike udaljenosti u odnosu na položaj predajnika.

Ako se val kroz prostor rasprostire odbijanjem od ioniziranog sloja atmosfere zove se **prostorni val.** Tako se zove i val koji se odbija od slojeva zracnih masa razlicite gustoce, s obzirom da su karakteristike vala jednake. Ako val dosegne prijemnik rasprostiranjem izmedu površine mora i najnižeg ioniziranog sloja atmosfere (u obliku valovoda) zove se **površinski val.**

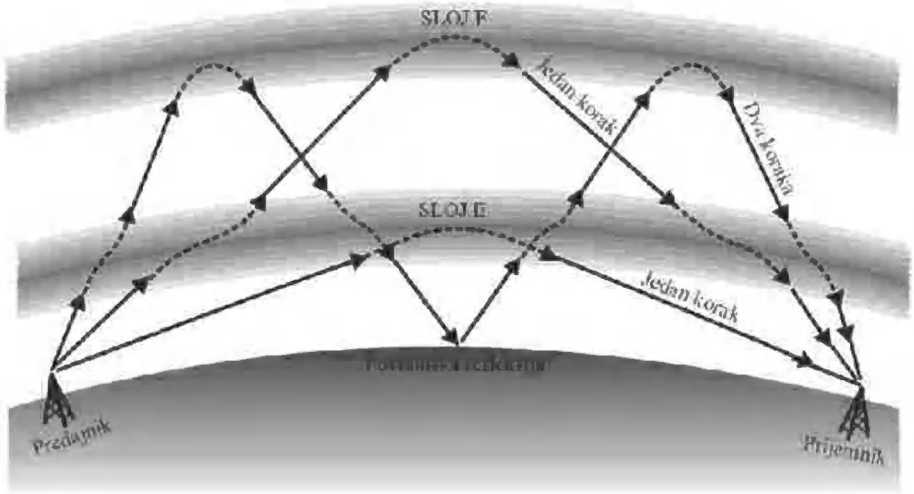
Kod kutova koji su manji od kriticnih radioval prolazi roz ionizirane slojeve i gubi se u slobodnom prostoru. Prema tome postoji namanja udaljenost od predajnika na kojoj ce se primiti prostorni val. Ta se udaljenost zove **korak** ili **skok.** Ako površinski val ne može doseci prijemnik, a udaljenost prijemnika je manja od daljenosti jednog koraka (skoka) veza se nece uspostaviti (slika 2).



Slika 2. Propagacija radio valova

Kriticni kut rasprostiranja ovisi o intenzitetu radijacije i frekvenciji radio vala. Porastom frekvencije vrijednost kuta opada. Kod frekvencija viših od 30 MHz svu energiju radio vala apsorbira ionizirani sloj. Prema tome za svaki položaj prijemnika postoji neka najpovoljnija frekvencija kod koje je prijemni signal najjaci **(Maximum Usable frequency - MUF).** Suprotno tome postoji i suprotna, donja granica frekvencije **(Lowest Usable Frequency - LUF)** kod koje je primljeni signal najslabiji. Izmedu te dvije krajnosti može se izabrati frekvencija za optimizaciju prijema. Optimalna frekvencija ne može biti preblizu MUF frekvencije jer se frekvencija najboljeg ijema signala mijenja ovisno o kolebanjima ioniziranih slojeva atmosfere (po intenzitetu ionizacije ili visini). Za vrijeme magnetskih oluja intenzitet ionizacije opada, frekvenc MUF-a opada a LUF-a raste, tako da je širina optimalnog frekventnog podrucja manja. U uvjetima podrucje optimalnog prijema može sasvim nestati onemogucujuci bilo kakav prijem signala.

Prostorni val može na odredeni prijemnik doci iz bilo smjera (slika 3). Signal koji se od ioniziranog sloja odbije samo jedanput rasprostire se u obliku jednog koraka. Ako se signal odbije u više perioda rasprostire se u dva ili iše koraka. Krajnji domet signala ovisan je o broju koraka i sloju od kojeg se signal reflektira.



Slika 3. Propagacija u više koraka

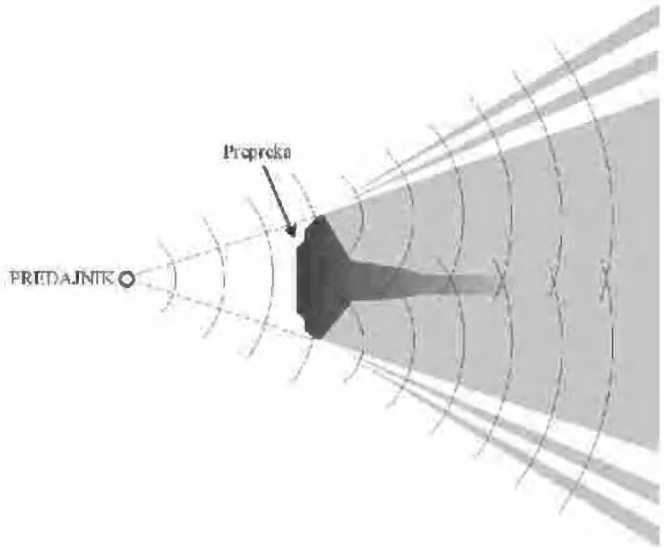
Zbog razlicitih faznih pomaka signala koji dolaze s razlicitih strana, u prijemniku se primljeni signali mogu medusobno ojacavati ili slabiti. Ta se pojava zove **fading (fejding).** Ovaj se fenomen u propagaciji radiovalova može javiti zbog interakcija komponenti od kojih je sacinjen val, a kod samo jednog skretanja. Ionosferske promjene u fazi uzrokovane su suncevom radijacijom koja je glavni uzrok ionizacije sloja F, tako da je tim kolebanjima najviše podložan radioval koji se odbija od tog sloja.

Najveca udaljenost prijema signala koji se u jednom koraku odbija od sloja E može iznositi do 1400 M. Za rasprostiranje na takvu udaljenost signal iz predajnika izlazi skoro u horizontalnoj ravnini. Najveca udaljenost prijema signala koji se u jednom koraku odbija od sloja F može biti oko 2500 M. Signal emitiran na niskim frekvencijama može se, efektom valovoda kao površinski val, rasprostirati na mnogo vece udaljenosti.

Prostorni val koji se odbio od ionosfere i promijenio fazu može interferirati s valom koji se širi površinski. Smetnje koje se pritom javljaju zovu se **pogreške polarizacije**. U vrijeme blizu izlaza ili zalaza Sunca, kad se u ionosferi dogadaju najintenzivnije promjene, ova pogreška postane najveca. Ta se pojava zove **nocni efekt.**

Lom radiovalova (difrakcija).

Kad radioval naide na prepreku, dio se njegove energij odbija ili apsorbira uzrokujuci zasjenjenje iza prepreke. Ipak dio energije prodre i iza prepreke zbog pojave koja se zove **lom** ili **difrakcija.** Ova se pojava objašnjava Huygensovim pravilom koje govori da je svaka tocka na frontu vala poseban izvor radijacije a koji emitira energiju u svim smjerovima ispred radiovala. Ovo svojstvo radio vala nije vidljivo sve do trenutka dok front vala ne naide na prepreku. Kad val naide na prepreku iz svake tocke rasipa se energija od koje dio prodire i u prostor djelomicno iza prepreke. Tako se manji dio energije povija u sjenu prepreke (slika 4). U podrucju sjene formiraju se alternativne zone u kojima se komponente radiovala koji se povija s obje strane prepreke interferiraju. Prakticni efekt ove pojave je znacajno slabljenje snage signala i veli smetnje neposredno u sjeni iza prepreke.



Slika 4. Lom radio vala

Utjecaj difrakcije obrnuto je proporcionalan frekvenciji i veci je što je frekvencija niža.

Absorbcija i rasipanje radiovalova

Amplituda radio vala koji se širi prostorom mijenja se s udaljenošcu rasprostiranja i postaje sve manja što je udaljenost rasprostiranja veca. Slabljenje snage s udaljenošcu zove se **rasipanje.** U normalnim uvjetima rasipanje u atmosferi vece je ne u slobodnom prostoru.

Rasprostiranjem po površini Zemlje radio val predaje nešto vlastite energije površini preko koje se rasprostire. Kao rezultat gubitka energije front vala povija se prema dolje, što uzrokuje još vecu absorpciju. Gubitak energije je to veci što je površina preko koje se val rasprostire slabiji elektricni vodic. Rasprostiranjem preko morske površine val gubi relativno malo energije s obzirom da je more dobar vodic za niske frekvencije. Zbog toga se površinski valovi niskih frekvencija mogu preko morske površine rasprostirati na velike udaljenosti.

Prostorni val prolazom kroz ionizacijske slojeve gubi iše energije. Gubitak ovisi o intenzitetu ionizacije i frekvenciji vala. Najveci gubici su kod frekvencije 1.400 kHz.

Opcenito, atmosferska absorpcija raste s frekvencijom. Problemi su posebno izraženi kod SHF i EHF frekventnim podrucjima. Kod tih frekvencija absorpcija je pojacana i rijetkom atmosferom, vlagom, vodenom parom i kišnim oblacima.

Smetnje

Pojava nepoželjnih šumova zove se interferencija. Namjerno izazivanje interferencija u svrhu onemogucavanja zloupotreba radiofrekvencija zove se **ometanje (jamming).** Neželjene interferencije zovu se **smetnje.**

Smetnje nastaju izvan prijemnika. Šum je najcešce rezult indukcija radiovalova bliskih frekvencija. Pojava je jednaka na svim frekventnim podrucjima.

Smetnje mogu uzrokovati i prirodne pojave ili rad strojeva, iskrenje, sustavi za grijanje ili ostali uredaji i strojevi koji koriste elektricnu struju.

Prirodni šumovi su uzrokovani statickim elektricitetom u atmosferi. Ti se šumovi nazivaju **atmosferske smetnje.** Ekstremni primjer su elektromagnetske oluje poznate pod nazivom **Vatra svetog Elma** koja se manifestira kao iskrenja na vrhovima jarbola, krajevima dizalica ili samarica itd.

Svojstva antene

Izgled i orjentaciju antene odreduju svojstva propagacije radiovalova. Kod horizontalo položenih predajnih antena najjaci signal rasprostire okomito na položaj antene. Kod vertikalnih štapnih odašiljackih antena signal se rasprostire na sve strane horizonta jednakom snagom. Kod takvih antena signal se najbolje prima ako je i prijemna antena vertikalno orjentirana.

Radio signali nižih frekvencija emitiraju se interakcijom površine Zemlje i antene. Za štapne vertikalne antene veca djelotvornost postiže se vecom duljinom antene. Za štapne horizontalne antene veca djelotvornost postiže se udaljenošcu izmedu antene i površine Zemlje. Najdjelotvornija emisija postiže se antenom cija dužina jednaka polovini valne dužine (λ). Zbog toga valovi nižih frekvencija zahtijevaju antene vrlo velikih dimenzija, na primjer, radio val frekvencije 10 kHz ima valnu dužinu od 30 km, pa bi optimalna dužina antene morala biti 15 kilometara. Dužine antena radio valova niskih frekvencija obratno razmjerna višekratnicima valne dužine ($\lambda/4$, $\lambda/8$, $\lambda/16$ itd). Drugim rjecima kod radiovalova nižih frekvencija dužina antene nije optimalna.

Na visokim frekvencijama Zemlja se ne koristi kao provodnik vec su oba dipola smještena na anteni. Time se ne samo poboljšava djelotvornost antene vec se postiže i veca snaga signala. Snaga primljenog signala obrnuto je proporcionalna kvadratu udaljenosti prijemne od predajne antene, pod uvjetom da ne postoji rasipanje ili absorpcija.

Domet

Domet do udaljenosti na kojoj se signal može ispravno (krajnji domet) ovisi o snazi predajnika, osjetljivosti prijemnika, frekvenciji, podrucju rasprostiranja, razini smetnji i drugim mogucim faktorima. Za jednaku snagu predajnika površinski kao i prostorni val imaju veci domet što su više valjne dužine, odnosno što su niže frekvencije, ali to u velikoj mjeri ovisi o dužini predajnih antena. Kod vrlo visokih i ultra visokih frekvencija korisno se može koristiti samo direktni va cime je domet ogranicen, a na prijenos mogu utjecati svi spomenuti elementi. Zbog toga se danas glavnina komunikacija odvija na optickim vidljivostima, a za prijenose na daljinu koriste se posredne primopredajne stanice (releji). U tu svrhu danas se koriste guste kopnene i obalne mreže te mnogobrojni satelitski sustavi koji osiguravaju medusobnu opticku vidljivost.

Svojstva frekventnih podrucja

Propagacija (rasprostiranje) radio valova funkcija je vencije, tako da svako frekventno podrucje ima posebna svojstva koja odreduju propagaciju. U slijedecem pregledu kratko su opisana svojstva pojedinih frekventnih podrucja.

Vrlo niska frekvencija (Very low frequency - VLF, 10 kHz do 30 kHz): signal emitiran na VLF rasprostire se u meduprostoru izmedu površine Zemlje i ionosfere, pa se efektom valovoda može prenijeti na ekstremno velike udaljenosti (na primjer OMEGA). Lom vala je najveci. Zbog velikih valnih dužina antene moraju biti ekstremno dugacke. Magnetske oluje imaju male utjecaje na rasprostiranje, ali interferencije zbog atmosferskih utjecaja mogu uzrokovati ozbiljne smetnje. Signali se mogu primati i ispod površine mora.

Niska frekvencija (Low Frequency - LF, 30 kHz do 300 kHz): porastom frekvencije na LF frekventno podrucje smanjuje se difrakcija, rasipanje kao funkcija udaljenosti više je nego kod VLF, a domet kao funkcija snage manji. Ipak, ovo je frekventno podrucje mnogo više u uporabi zbog lakše prilagodbe antena. Široko korištena frekvencija za impulsne signale krece se oko 100 kHz. Rasprostiranje je moguce do 1500 km, u odredenim okolnostima i 2000 km. Frekvencije ovog frekventnog podrucja koristi hiperbolicni sustav Loran C, a najviše se koristi i kod obalnih radio farova.

Srednje frekventno podrucje (Medium Frequency - MF, 300 kHz do 3 Mhz): mnogo je u uporabi kod komunikacija, pokriveno je gustom mrežom obalnih stanica, omogucava kvalitetan prijenos informacija ali domet ovog frekventnog podrucja vrlo je ogranicen i krece se od 400 M na donjem frekventnom podrucju do 15 M na gornjem za signal emitirane snage 1 kW. Dometi u mnogom ovise i o prilagodenosti antene i vrsti terena preko kojeg se signal širi. Na nižem frekventnom podrucju može se rasprostirati kao prostorni val i to danju i nocu. Porastom frekvencije ionosfere se povecava i postaje najveca kod frekvencije 1400 kHz. Prostornom propagacijom u više koraka domet se može povecati i do 8000 M za signal emitirane snage od 1 kW. Opcenito ovo je podrucje dovoljno pouzdano danju i nocu, ali na donjoj razini frekvencije (300 kHz) pouzdanije je nocu.

Visoka frekvencija (Hight Frequency - HF, od 3 MHz do 30 MHz): buduci da se s višim frekvencijama domet površinske propagacija radio valova smanjuje, površinsko rasprostiranje valova visoke frekvencije ograniceno je na sasvim kratke domete od svega nekoliko milja, ali mnogo bolja može omoguciti veci domet direktnog vala. Takoder dužina antene uzrokuje efekt koji omogucava vrlo velik domet prostornim valom što ovisi o visini antene. Najbolja uporabljiva frekvencija (MUF uglavnom pada u HF frekventno podrucje. Danju to podrucje može varirati izmedu 10 MHz i 30 MHz, a nocu od 8 MHz i 10 MHz. Ova se frekvencija najcešce upotrabljava za komunikacije brod – brod, brod – kopno i kopno – brod. U sustavu GMDSS u funkciji uzbunjivanja u najširoj su uporabi DSC frekvencije na bendovima 4 MHz, 6 MHz, 8 MHz, 12 MHz i 16 MHz.

Vrlo visoka frekvencija (Very High Frequency - VHF, od 30 MHz do 300 MHz): komunikacije su ogranicene na direktni val ili kombinaciju direktnog vala i vala odbijenog od površine Zemlje. Veci domet efikasno se postiže podizanjem antene na vecu visinu. Rasipanje je mnogo manja nego kod nižih frekventnih podrucja, ali je mnogo izraženije ako val naide na smetnje kao što su planinski vrhovi i i brda. U idealnim situacijama i prostorno rasprostiranje je vrlo djelotvorno, ali se to rijetko dogada. Interferencije zbog ionosferskih smetnji su beznacajne. Vrlo se mnogo koristi u pomorskim komunikacijama, s medunarodnim frekvencijama 156,8 MHz za komunikacije pogibelji (16 kanal) i 156,525 MHz za DSC poziv pogibelji (70 kanal).

Ultra Visoke Frekvencije (Ultra High Frequency - UHF, od 300 MHz do 3 GHz): na ovim frekvencijama ne postoji prostorni val jer ionosfera ne reflektira rekvencije ovog valnog podrucja, tako da se radio val bez gubitaka energije probije kroz ionosferu i rasprostire se u slobodan prostor. Iz tog se razloga ove frekvencije koriste kao direktni valovi za vrlo velike udaljenosti prema satelitima (INMARSAT, GPS). Koriste se kao površinski, kvazipovršinski i direktni valovi iako se nižim slojevima atmosfere javljaju interferencije. Zbog refrakcije radio horizont je oko 15% veci od morskog. Ne javlja se ni fejding. Može se koristiti za komunikacije brod – brod, brod – kopno i kopno – brod.

Super Visoka Frekvencija (Super High Frequency - SHF, od 3 GHz do 30 GHz): ove frekvencije imaju valne dužine koji se izražavaju centimetrima, pa se nazivaju mikrovalnim frekventnim podrucjem. Ne javlja se interf ija ni posebno izražene atmosferske smetnje, kao ni rasipanje. Izražena je ref eksija od oblaka, vodene pare, cestica prašine, ledenih cestica i ostalih atmosferskih sadržaja, tako da se ovo frekventno podrucje koristi u svim oblicima radarske tehnike. Kod povoljnih uvjeta izražen je površinski fejding. Pomorski radar koristi frekvencije od 3 GHz (valna dužina 10 cm) na S bandu i 10 GHz (valna dužina 3 cm) na X bandu.

Ekstremno visoke frekvencije (Extremely High Frequency - EHF, od 30 GHz do 300 GHz): nema fejdinga, interferencije, rasipanja. Koriste se o kao direktni i kvazipovršinski valovi. Izražena je absorpcija u atmosferi, što predstavlja u komunikacijskoj tehnici.

Pravna regulacija korištenja frekvencija

Osim tehnickih svojstava frekventnih podrucja, zbog izvanredno velike primjene u komunikacijama kao i u brojnim drugim djelatnostima nužna je i zakonska regulacija kod korištenja frekvencija. Raspodjelu frekvencija obavljaja specijalizirana ustanova Ujedinjenih Naroda **ITU (International Telecommunication Union).** Nacionalne ustanove dijele frekventna podrucja u skladu s odredbama ITU-a. Ponekad se može dogoditi da su brodskim stanicama dodijeljena toliko bliska frekventna podrucja koja izazivaju interferencije. Neke su frekvencije izdvojene i služe tocno odredene svrhe, na primjer frekvencije 2182 kHz, 2187,5 kHz, 156,8 MHz, 156,525 MHz, 406 MHz itd. Za globalne navigacijske sustave koriste se takve izdvojene frekvencije.

1. 2. Tipovi radio emisija

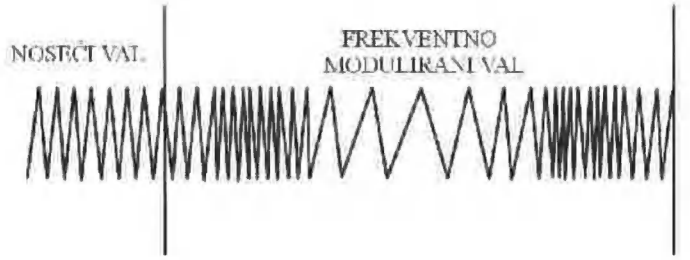
Serija valova emitiranih na stalnoj frekvenciji zove se **kontinuirani val (continuous wave - CW).** Takav val može biti izravno korišten u nekim oblicima ija (na primjer kod radiotelegrafije, radio goniometra ili faznog hiperbolicnog navigacijskog sustava Decca), ali mnogo cešce se na neki nacin prilagodava frekvencijama koje sadrže potrebne informacije. Tada se takav val zove **noseci val**, a postupak prilagodbe zove se **modulacija**.

Vrst modulacije odreduje vrijednost kojoj se noseci val prilagodava, tako da postoji amplitudna, frekventna i fazna modulacija, a poseban o predstavlja impulsna modulacija, narocito u najnovije vrijeme.

Amplitudna modulacija (Amplitude Modulation - AM) je vrst modulacije kad se amplituda noseceg vala prilagodava amplitudi vala koji sadrži informaciju. U toj vrsti modulacije u modulatoru se miješaju amplitude noseceg i vala koji sadrži informaciju, te se u prostor emitiraju superponirane (zbrojene) vrijednosti amplituda. Da bi se izdvojila korisna informacija u demodulatoru prijemnika iz moduliranog radio vala izdvaja se amplituda noseceg vala, a preostala vrijednost se, nakon mnogostrukog povecanja, pretvara u audio ili video signal koji sadrži korisnu informaciju. Ova vrst modulacije najcešca je u radiotelefonskoj komunikaciji, ali i u mnogim drugim vrstama prijenosa informacija na daljinu (slika).

Slika 5. Amplitudna modulacija

Frekventna modulacija (Frequency Modulation- FM) je vrst modulacije kad se u modulatoru frekvencija noseceg vala prilagodava frkvenciji radnog vala (vala sadrži informaciju). U demodulatoru prijemnika iz primljenog la izdvaja se frekvencija noseceg vala a preostala vrijednost se, nakon višestukog pojacanja, pretvara u informaciju.



Slika 6. Frekventna modulacija

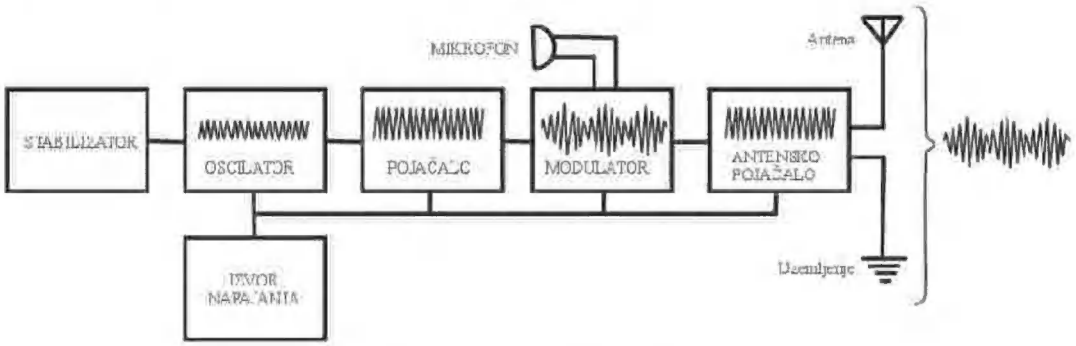
Fazna modulacija (Phasic Modulation - PhM) je vrst modulacije u kojoj se u modulatoru prilagodavaju faze noseceg i radnog vala.

Impulsna modulacija (Pulse Modulation - PM) je modulacija po vremenu. U ovoj vrsti modulacije emitiraju se vrlo kratki impulsi noseceg vala medusobno odijeljeni relativno dugim periodima tišine (slika 7). Ova se vrst modulacije koristi, na primjer, kod Lorana C.

Slika 7. Impulsna modulacija

Predajnici

Opcenito predanik je sastavljen od izvora napajanja, oscilatora koji pretvara elektricni tok u noseci val, sklop koji nadzire stabilnost frekvencije, pojacala, modulatora, antenskog pojacala i antene. Ako se prenosi govor, nužan dio predajnika je i mikrofon iz kojeg se signali uvode u modulator. Modulirani signal pojacava se antenskim pojacalom, a iz antene impuls se emitira u prostor. Djelovi su shematski prikazani na slici 8.



Slika 8. Blok shema osnovnih elemenata predajnika

Prijemnici

Kad se radio val krece preko vodica u njemu se inducira elektricni tok. Radio prijemnik je uredaj koji registrira induciranu snagu u prijemnoj anteni i pretvara je u uporabljivi oblik, na primjer audio ili video signal. Omogucava pr signala željene frekvencije izmedu svih koji dolaze na antenu. U demodulatoru prijemnika razdvajaju se noseca frekvencija od frekvencije koja sadrži informaciju. Iz signal može se manifestirati u razlicitim varijantama: kao audiosignal na zvucniku il razglasu odnosno kao videosignal na zaslonu katodne cijevi. Prema tome za obradu primljenog signala nužno su potrebna tri osnovna elementa: antena, prijemnik i displej.

Radio prijemnici razlikuju se prema:

- frekvencijskom opsegu na kojem rade,
- selektivnosti, odnosno mogucnosti što preciznijeg izdvajanja željenih frekventnih opsega,
- osjetljivosti, odnosno mogucnostima primanja što slabijih signala otklanjanju šumova,
- stabilnosti, odnosno svojstva da se ne mijenja kvalitet primljenog signala,
- reprodukcijskoj kvaliteti ili svojstvu da su emitirani i primljeni signal što identicniji.

Prijemnici mogu imati dodatne komponente za poboljšanje prijema, na primjer automatsko biranje frekvencija, automatsko otklanjanje šumova itd.

Neke od navedenih karakteristika mogu biti u suprotnosti. Na primjer, preosjetljivi prijemnik može, kao smetnju, primati i neželjene signale. Ta se pojava zove **prelijevanje (spillover),** a posljedicna interferencija **križani govor (crosstalk).**

Primopredajnik (transponder) je uredaj koji sacinjavaju predajnik i prijemnik u jednom sklopu. Istovremeno omogucava emitiranje i primanje radiosignala.

1. 3. Planirani razvoj elektronicke navigacije

U.S. Federal Radionavigation Plan

Americki **Federalni radio navigacijski plan (Federal Radionavigation Plan - FRP)** donio je U.S. Departments of Defense and Transportation (Ministarstvo obrane i prometa). Planom je definirana politika razvoja elektronickih navigacijskih sustava u sukladnosti s nacionalnim interesima SAD i raspoloživim resursima. P ivilnih i vojnih navigacijskih sustava, kako postojecih tako i onih koji se tek planiraju razvijati, a odnosi se na pomorsku, zracnu, kopnenu i svemirsku nav iju. Izradio ga je National Technical Information Service, Springfield, Virginia.

Prvi put plan je predstavljen 1980. kao dio izvještaja Kongresu. Medunarodni karakter dobio je dostavom IMO-u, ICAO-u (International Civil Aviation Organization), IALA-i (Internation Association of Lighthouse Authorities) i ostalim medunarodnim organizacijama.

U slucaju opasnosti za nacionalne interese SAD-a plan predvida poseban nadzor nad radom svih sustava, a prema odlukama National Command Authority. Predvida se rad sustava samo ako oni mogu koristiti Sjedinjenim Državama i njezinim saveznicima više nego protivniku. Operativni uredi ovlašteni su ugasiti rad sustava te izmijeniti formate ili karakteristike signala sustava za vrijeme dok traju opasnosti.

Provodenje plana stalno se nadzire, a odredbe plana dopunjuju se svake druge godine. Industrija, savjetodavne grupe i ostali zainteresirani partneri predlažu unapredenja ili poboljšanja. Predvidena je odgovornost kako za nacionalnu tako i za javnu sigurnost te ekonomski prosperitet transportnih sustava. Sustavi koje pokriva Plan su: radiofarovi, Omega, TACAN, MLS, GPS, Loran C, VOR/VOR-DME/VORTAC, ILS i Transit.

Planovi za postojece navigacijske sustave

U nastojanju zadovoljenja potreba civilne i vojne navigacije vlada USA ustanovila je brojne i razlicite navigacijske sustave, a svaki je od njih bio temeljen na najnovijim tehnološkim rješenjima u vremenu kad su pojedini sustavi bili instalirani. Planom je bilo predvideno da se svi sustavi vremenom prilagode jednom jedinstvenom sustavu kao komponente s posebnim namjenama. Sustavima koji se tim promjenama ne mogu prilagoditi predvideno je postupno gašenje. FRP je 1992. izradio smjernice za postojece sustave: mrežu obalnih radiofarova, Loran C, Omega, Transit, GPS i diferencijalni GPS.

Radio farovi: mreža sustava zracnih i pomorskih radio farova pružala je jeftinu uslugu avionima i brodovima kojima je omogucavala pozicioniranje sa preciznostima srednje preciznosti. Prema FRP obalni radiofarovi su bili predvideni da u mješovitom sustavu ostanu do 2000. godine. Nakon te godine u funkciji su one stanice koje su se prenamjenile kao referentne stanice diferencijalnog GPS sustava, dok su preostale ugašene.

Loran C: Loran C je hiperbolicni sustav koji omogucava pozicioniranje na moru, u zraku i na kopnu. Koristi se u podrucjima s gustim prometom pomorskim ili zracnim prometom. Sustavi koji su u funkciji uz obale Sjedinjenih država i na Aljasci, s izuzetkom sustava na Havajima ostat ce u primjeni do 2015. godine. Ratna mornarica prestala je koristiti Loran C 1994. godine, a sustav na Havajima je iskljucen.

Omega: bio je prvi sustav koji je omogucavao pozicioniranje srednjim stupnjem preciznosti) na bilo kojem dijelu globusa. Vojno korištenje sustava prekinuto je još 1994. a u civilnoj se navigaciji sustav održao do 2005. godine kad je ugašen.

Transit: sateliti sustava Transit potpuno prestaju s radom u prosincu 2006.

GPS: pocetkom tisucljeca postao je dominantan sustav za pozicioniranje, kako u ratnoj mornarici (P Code) tako i u civilnoj (C/A Code). Omogucava dvije razine preciznosti:

Standard Positioning Service (SPS) je sustav pozicioniranja i tocnog vremena koji omogucava pozicioniranje s horizontalnom pogreškom manjom od 300 metara s vjerojatnošcu 99,99 %, ili manjom od 100 m s vjerojatnošcu 95 %.

Precise Positioning Service (PPS) omogucava ekstremno visoku tocnost i koristi se samo za vojne potrebe.

Diferencijalni GPS (DGPS): ovaj je servis planiran od strane civilnih navigacijskih vladinih agencija i Ministarstva prometa (Department of Transport - DOT) a s namjerom da se poboljša preciznost sustava a bez zadiranja u PPS. Prvi je diferencijalni GPS poceo koristiti americki Coast Guard u svom obalnom moru. DGPS je sustav koji uracunavanjem razlike izmedu koordinata odredenih GPS prijemnikom i pravih koordinata referentne obalne stanice izracunava pogrešku sustava i tu informaciju proslijeduje ostalim stanicama. Coast Guard je sustavom pokrio sve luke i cjelokupnu obalu SAD, ukljucujuci Havaje i Velika Jezera. Sustav omogucava pozicioniranje s pogreškom izmedu 4 m i 20 m.

Suradnja americkog Ministarstva za obranu (Department of Defense – DOD) i Ministarstva transporta (Departments of Transportation – DOT) u pogledu razvijanja navigacijskih sustava pocela je još 1978. kad je potpisan Memorandum koji je dopunjavan i poboljšavan 1984. i ponovo 1990. Prepoznata je potreba da se paralelno razvijaju vojni i civilni programi elektronicke navigacije i uspostavljena suradnja u tom pravcu.

Mnogo faktora utjece na izbor navigacijskog sustava koji može zadovoljiti ocekivanja korisnika kojima je potrebno ekstremno tocno pozicioni Svako rješenje mora zadovoljavati medunarodne standarde, a visoki troškovi instaliranja i održavanja sustava zahtijevaju pomno i dugorocno financijsko planiranje. Federal Radionavigation Plan (FRP) predvidio je da standardi GPS sustava nece zadovoljavati ocekivanja svih korisnika tako da je predvidio razvoj i drugih sustava, neovisno o razvoju GPS sustava. Nakon prikupljenih iskustava iz korištenja GPS sustava bit ce donesena odluka o razvoju novih sustava, ali je opcenit pristup korištenje što manjeg broja sustava. Nakon pocetka realizacije sustava **Galileo** kojeg je pokrenula **Europska svemirska agencija (European Space Agency - ESA)** planirano je da se dva postojeca satelitska sustava GLONASS i GPS ukljuce, zajedno s Galileom, u sustav **GNSS (Global Navigational Satellite System),** te da se rad svih sustava medusobno uskladi.

U skoroj buducnosti planiran je razvoj sustava koji ce u mnogo vecoj mjeri koristiti terestricke resurse, s obzirom da je jedan od najvecih prepreka u korištenju satelitskih sustava visoka cijena instalacije i održavanja, unatoc sigurnosti, jednostavnosti i masovnom korištenju.